

Requested Patent: JP2001091408A

Title:

POLARIZATION MODE DISPERSION MEASUREMENT AND ZERO DISPERSION  
MEASUREMENT DEVICE ;

Abstracted Patent: JP2001091408 ;

Publication Date: 2001-04-06 ;

Inventor(s): NAGASHIMA SHINYA ;

Applicant(s): ANDO ELECTRIC CO LTD ;

Application Number: JP19990271139 19990924 ;

Priority Number(s): ;

IPC Classification: G01M11/02; G02B6/00 ;

Equivalents: ;

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately measure a polarization mode dispersion of a long distance fiber and to shorten a measurement time in a polarization mode dispersion measurement and zero dispersion wavelength measurement device. SOLUTION: This polarization mode dispersion measurement and zero dispersion wavelength measurement device is provided with a probe light source 1 with a fixed wavelength, a wavelength scanning pump light source 3, a polarization controller 4 matching a polarization state of the pump light with that of the probe light, an optical multiplexer 2 multiplexing light from the polarization controller 4 with the probe light, an optical branching filter 6 branching the light outputted from the measured fiber into two beams, a fixed analyzer 7 transmitting a polarized light constituent in the specific azimuth alone, an optical selector 8 selecting the light on the other side outputted from the optical branching filter 6 or the light outputted from the fixed analyzer 7, an optical spectrum analyzer 9 measuring optical intensity and wavelength, and a computer 10 finding polarization mode dispersion from the pump light intensity and finding zero-dispersion wavelength from four light waves mixed light intensity.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-91408  
(P2001-91408A)

(43) 公開日 平成13年4月6日 (2001.4.6)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
G 0 1 M 11/02		G 0 1 M 11/02	K 2 H 0 3 8
G 0 2 B 6/00		G 0 2 B 6/00	A

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平11-271139

(22) 出願日 平成11年9月24日 (1999.9.24)

(71) 出願人 000117744

安藤電気株式会社

東京都大田区蒲田4丁目19番7号

(72) 発明者 長島 伸哉

東京都大田区蒲田4丁目19番7号 安藤電気株式会社内

(74) 代理人 100099195

弁理士 宮越 典明 (外1名)

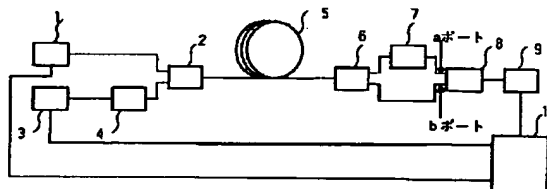
Fターム(参考) 2H038 AA02

(54) 【発明の名称】 偏波モード分散測定及び零分散波長測定装置

(57) 【要約】

【課題】 偏波モード分散測定及び零分散波長測定装置であって、長距離ファイバの偏波モード分散を高精度に測定するとともに、測定時間を短縮する。

【解決手段】 波長が一定なプローブ光源1と、波長掃引可能なポンプ光源3と、ポンプ光とプローブ光の偏波状態を一致させる偏波コントローラ4と、偏波コントローラ4からの光とプローブ光を合波する光合波器2と、被測定ファイバから出力される光を二分岐する光分岐器6と、光の特定方位角偏光成分のみ透過させる固定検光子7と、光分岐器6から出力された他方の光もしくは固定検光子7から出力された光を選択する光選択器8と、光の強度と波長を測定する光スペクトラムアナライザ9と、ポンプ光強度から偏波モード分散を求めるとともに四光波混合光強度より零分散波長を求める演算器10と、を備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 発振波長を $\lambda 1$  ( $\omega 1 = 2\pi c / \lambda 1$ ) として発振波長が一定なプローブ光源と、  
 発振波長を $\lambda 2$  ( $\omega 2 = 2\pi c / \lambda 2$ ) として波長掃引可能なポンプ光源と、ポンプ光源から出力されたポンプ光の偏光状態を前記プローブ光源から出力されるプローブ光の偏波状態に一致させる偏波コントローラと、  
 偏波コントローラからの光とプローブ光を合波するとともに、被測定ファイバに入力する光合波器と、  
 ポンプ光波長を所定範囲掃引した時に被測定ファイバから出力される $2 \times \omega 1 - \omega 2$  と  $2 \times \omega 2 - \omega 1$  の四光波混合光とポンプ光とプローブ光を二分岐する光分岐器と、  
 光分岐器から出力された一方の光において特定方位角偏光成分のみ透過させる固定検光子と、  
 光分岐器から出力された他方の光もしくは固定検光子から出力された光を選択して出力する光選択器と、  
 光選択器から入力された光の強度と波長を測定して演算器に入力する光スペクトラムアナライザと、  
 前記ポンプ光波長掃引時において得られるポンプ光波長に対する特定方位角偏光成分のポンプ光強度から偏波モード分散を求めるとともに四光波混合光強度の分布極大値を与えるポンプ光波長より零分散波長を求める演算器を備える偏波モード分散測定及び零分散波長測定装置。  
 ただし、 $\omega 1$ は前記光波長 $\lambda 1$ の光角周波数、 $\omega 2$ は前記光波長 $\lambda 2$ の光角周波数、 $c$ は光速。  
 【請求項2】 発振波長を $\lambda 1$ として発振波長が一定なプローブ光源と、  
 発振波長を $\lambda 2$ として波長掃引可能なポンプ光源と、  
 ポンプ光源から出力されたポンプ光の偏光状態を前記プローブ光源から出力されるプローブ光の偏波状態に一致させる偏波コントローラと、  
 偏波コントローラからの光とプローブ光を合波するとともに、被測定ファイバに入力する光合波器と、  
 ポンプ光波長を所定範囲掃引した時に被測定ファイバから出力される $2 \times \omega 1 - \omega 2$  と  $2 \times \omega 2 - \omega 1$  の四光波混合光とポンプ光とプローブ光を二分岐する光分岐器と、  
 光分岐器から出力された一方の光の中からポンプ光のみ透過させる第一の光バンドパスフィルタと、  
 第一の光バンドパスフィルタから出力された光において特定方位角偏光成分のみ透過させる固定検光子と、  
 光分岐器から出力された他方の光の中から四光波混合光のみ透過させる第二の光バンドパスフィルタと、  
 固定検光子から出力された光と第二の光バンドパスフィルタから出力された光を合波して光スペクトラムアナライザに出力する第二の光合波器と、  
 第二の光合波器から入力された光の強度と波長を測定して演算器に入力する光スペクトラムアナライザと、  
 前記ポンプ光波長掃引時において得られるポンプ光波長

に対する特定方位角偏光成分のポンプ光強度から偏波モード分散を求めるとともに四光波混合光強度の分布極大値を与えるポンプ光波長より零分散波長を求める演算器を備える偏波モード分散測定及び零分散波長測定装置。  
 ただし、 $\omega 1$ は前記光波長 $\lambda 1$ の光角周波数、 $\omega 2$ は前記光波長 $\lambda 2$ の光角周波数、 $c$ は光速。

【請求項3】 前記演算器が $2 \times \omega 1 - \omega 2$ なる四光波混合強度の分布極大値を与えるポンプ光波長から零分散波長を求める請求項1または2のいずれかに記載の偏波モード分散測定及び零分散波長測定装置。ただし、 $\omega 1$ は前記光波長 $\lambda 1$ の光角周波数、 $\omega 2$ は前記光波長 $\lambda 2$ の光角周波数、 $c$ は光速。

【請求項4】 前記演算器が $2 \times \omega 2 - \omega 1$ なる四光波混合強度の分布極大値を与えるポンプ光波長から零分散波長を求める請求項1～2のいずれかに記載の偏波モード分散測定及び零分散波長測定装置。ただし、 $\omega 1$ は前記光波長 $\lambda 1$ の光角周波数、 $\omega 2$ は前記光波長 $\lambda 2$ の光角周波数、 $c$ は光速。

【請求項5】 発振波長を $\lambda 2$  ( $\omega 2 = 2\pi c / \lambda 2$ ) として波長掃引可能なポンプ光の偏光状態を発振波長を $\lambda 1$  ( $\omega 1 = 2\pi c / \lambda 1$ ) として発振波長が一定なプローブ光の偏波状態に一致させ、  
 一致させた光とプローブ光を合波するとともに、被測定ファイバに入力し、  
 ポンプ光波長を所定範囲掃引した時に被測定ファイバから出力される $2 \times \omega 1 - \omega 2$  と  $2 \times \omega 2 - \omega 1$  の四光波混合光とポンプ光とプローブ光を二分岐し、  
 一方の光において特定方位角偏光成分のみ透過させ、他方の光もしくは前記特定方位角偏光成分の光を選択して入力された光の強度と波長を測定する光スペクトラムアナライザの出力を演算器に入力し、  
 前記ポンプ光波長掃引時において得られるポンプ光波長に対する特定方位角偏光成分のポンプ光強度から偏波モード分散を求めるとともに四光波混合光強度の分布極大値を与えるポンプ光波長より零分散波長を求めることを特徴とする偏波モード分散測定及び零分散波長測定方法。ただし、 $\omega 1$ は前記光波長 $\lambda 1$ の光角周波数、 $\omega 2$ は前記光波長 $\lambda 2$ の光角周波数、 $c$ は光速。

【請求項6】 プローブ光源と、  
 ポンプ光源と、  
 発振波長を $\lambda 2$ として波長掃引可能なポンプ光の偏光状態を発振波長を $\lambda 1$ として発振波長が一定なプローブ光の偏波状態に一致させ両光を合波するとともに、被測定ファイバに入力し、  
 ポンプ光波長を所定範囲掃引した時に被測定ファイバから出力される $2 \times \omega 1 - \omega 2$  と  $2 \times \omega 2 - \omega 1$  の四光波混合光とポンプ光とプローブ光を二分岐し、  
 一方の光の中からポンプ光の特定方位角偏光成分のみ透過させて抽出し、  
 他方の光の中から四光波混合光とのみ透過させ前記特定

方位角偏光成分の光と前記四光波混合光を合波して光スペクトラムアナライザ入力して光の強度と波長を測定し、

演算器により前記ポンプ光波長掃引時において得られるポンプ光波長に対する特定方位角偏光成分のポンプ光強度から偏波モード分散を求めるとともに四光波混合光強度の分布極大値を与えるポンプ光波長より零分散波長を求める偏波モード分散測定及び零分散波長測定方法。ただし、 $\omega_1$ は前記光波長 $\lambda_1$ の光角周波数、 $\omega_2$ は前記光波長 $\lambda_2$ の光角周波数、 $c$ は光速。

【請求項7】前記演算器が $2 \times \omega_1 - \omega_2$ なる四光波混合強度の分布極大値を与えるポンプ光波長から零分散波長を求める請求項5または6のいずれかに記載の偏波モード分散測定及び零分散波長測定方法。ただし、 $\omega_1$ は前記光波長 $\lambda_1$ の光角周波数、 $\omega_2$ は前記光波長 $\lambda_2$ の光角周波数、 $c$ は光速。

【請求項8】前記演算器が $2 \times \omega_2 - \omega_1$ なる四光波混合強度の分布極大値を与えるポンプ光波長から零分散波長を求める請求項5〜6のいずれかに記載の偏波モード分散測定及び零分散波長測定方法。ただし、 $\omega_1$ は前記光波長 $\lambda_1$ の光角周波数、 $\omega_2$ は前記光波長 $\lambda_2$ の光角周波数、 $c$ は光速。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、光通信システムに用いられる光ファイバの伝送特性評価に有益な偏波モード分散測定及び零分散波長測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】始めに、従来技術による零分散測定装置を第4図を用いて説明する。従来技術による零分散測定装置は第4図のプロープ光源1、光合波器2、ポンプ光源3、偏波コントローラ4、光スペクトラムアナライザ9、演算器15などから構成されている。プロープ光源1から出力された光波長 $\lambda_1$ のプロープ光は光合波器2に入力される。波長掃引可能なポンプ光源3から出力された波長 $\lambda_2$ のポンプ光は偏波コントローラ4により、偏波状態をプロープ光の偏波状態と一致させられ、光合波器2で合波される。光合波器2から出力される光は、被測定ファイバ5に入力される。被測定ファイバ5内では、非線形効果である四光波混合効果（以後FWM）により $2 \times \omega_1 - \omega_2$ 、 $2 \times \omega_2 - \omega_1$ なる光角周波数を持つFWM光が発生し、ポンプ光、プロープ光と共に、

$$PMD = ((N-1)/c) \times \lambda_1 \times \lambda_2 / (\lambda_2 - \lambda_1) \quad \dots\dots (1)$$

(1)式において、 $\lambda_1$ は最初のピーク波長、 $\lambda_2$ は最後のピーク波長、 $N$ は周期関数のピーク数、 $c$ は光速である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】近年の大容量通信の方式である時間多重（以後TDM）通信で問題となるのは、PMDによる光パルス波形歪みが原因で生じる伝送

光スペクトラムアナライザ9に入力される。なお、 $\omega_1$ は前記光波長 $\lambda_1$ の光角周波数、 $\omega_2$ は前記光波長 $\lambda_2$ の光角周波数を示し、光速 $c$ を用いて、 $\omega = 2\pi c / \lambda$ と表される。光スペクトラムアナライザ9では $2 \times \omega_1 - \omega_2$ もしくは $2 \times \omega_2 - \omega_1$ のFWM光強度と光波長を測定し、演算器15に出力する。演算器15はポンプ光源3の波長を所定範囲、所定分解能で掃引させ、波長掃引ステップ毎に光スペクトラムアナライザ9から入力された $2 \times \omega_1 - \omega_2$ もしくは $2 \times \omega_2 - \omega_1$ のFWM光強度と光波長を記録する。ここで、 $\lambda_1$ 又は $\lambda_2$ が、被測定ファイバの零分散波長に一致し、かつ前記プロープ光の偏波状態と前記ポンプ光の偏波状態が一致すると、 $2 \times \omega_1 - \omega_2$ 及び $2 \times \omega_2 - \omega_1$ のFWM光強度は最大となるため、FWM強度が最大となるポンプ光源3の波長を求めることで、被測定ファイバ5の零分散波長が特定できる。

【0003】次に従来技術による偏波モード分散（以後PMD）測定装置を第5図を用いて説明する。ただし、この第5図において、前述した第4図の各部と共通する部分には同一の符号を付して示し、その説明を省略する。従来技術によるPMD測定装置は第5図の固定検光子7、広帯域光源16、演算器17などから構成されている。広帯域光源16で光を発光する広帯域光源16からの光は、被測定ファイバ5に入力される。広帯域光源には、たとえば、発光ダイオード、エルビウムドープファイバアンプの自然放光などを使用した光源がある。被測定ファイバ5からの光は固定検光子7に入力される。固定検光子7は、入力された光のうち、特定方位角の偏光成分のみ通過させて光スペクトラムアナライザ9に入力する。光スペクトラムアナライザ9は入力された光強度と光波長を測定し、演算器17に出力する。

【0004】演算器17に入力された光の強度、波長と、広帯域光源16の出力光を第6図の波形図より説明する。第6図の点線は、広帯域光源16に発光ダイオードを用いた場合の出力スペクトル特性を示している。又、実線は固定検光子7から入力された光のスペクトルであり、広帯域光源16出力に周期的変化が与えられた形となっている。演算器17はPMDを前記周期変化の内、任意強度以上で、かつ任意周期振幅以上のピーク数、最初のピーク波長、最後のピーク波長から(1)式のように求める。

速度制限と、自己位相変調効果と波長分散の相互作用による光パルス歪みが原因で生じる伝送速度制限である。40 Gbit/sクラスの伝送速度では、自己位相変調効果と波長分散の相互作用による光パルス歪みを抑圧することを目的として1.5  $\mu$ m帯に零分散値を持つ分散シフトファイバの零分散波長近傍で通信するため、零分散波長を測定する必要がある。このように、PMD測定

と零分散波長測定はTDMにおいて、必須の測定要素となっている。ここで、従来技術による零分散波長測定装置においては、現有する広範囲に波長掃引可能なポンプ光源が、メカニカル制御で、広範囲の波長掃引を実現しているため、100nmの波長掃引でも、数秒の時間がかかる。

【0006】次に、従来技術によるPMD測定装置では、光源に発光ダイオードを使用した場合、その発光帯域が100nmと広く、(1)式のピーク数Nが多く測定出来るため、PMDの測定精度が向上するが、単一モード光ファイバとの接続損失が大きいことから、単一モード光ファイバへの入力強度が低く、長距離ファイバの測定には不向きとなる。又、光源にエルビウムドープファイバンプの自然放光を使用した場合、前記接続損失は少ないが、利用出来る発光帯域が数十nmと、狭いことから、測定精度が発光ダイオードに比べ劣る。更に、零分散波長測定装置のように、光源にメカニカル制御で広範囲に波長掃引可能な光源を使用した場合、測定精度の向上と、長距離ファイバの測定が可能となるが、零分散波長測定同様、数秒の時間を要するため、PMD、零分散波長の両要素を測定した場合に、測定時間は、波長掃引可能な光源の波長掃引時間の2倍以上の時間となる。

【0007】(発明の目的)そこで、本発明は、広範囲に波長掃引可能な光源を用い、一回の波長掃引で、零分散波長とPMDの測定を同時に測定することで、測定時間を短縮すると共に長距離ファイバのPMDを高精度に測定するPMD測定及び零分散波長測定装置及びPMD測定及び零分散波長測定を提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は、次の態様をとることにより前記の課題を解決できる。

1. PMD測定及び零分散波長測定装置であって、発振波長を $\lambda_1$ として発振波長が一定なプローブ光源と、発振波長を $\lambda_2$ として波長掃引可能なポンプ光源と、ポンプ光源から出力されたポンプ光の偏光状態を前期プローブ光源から出力されるプローブ光の偏波状態に一致させる偏波コントローラと、偏波コントローラからの光とプローブ光を合波するとともに、被測定ファイバに入力する光合波器と、ポンプ光波長を所定範囲掃引した時に被測定ファイバから出力される $2 \times \omega_1 - \omega_2$ と $2 \times \omega_2 - \omega_1$ の四光波混合光とポンプ光とプローブ光を二分岐する光分岐器と、光分岐器から出力された一方の光において特定方位角偏光成分のみ透過させる固定検光子と、光分岐器から出力された他方の光もしくは固定検光子から出力された光を選択して出力する光選択器と、光選択器から入力された光の強度と波長を測定して演算器に入力する光スペクトラムアナライザと、前記ポンプ光波長掃引時において得られるポンプ光波長に対する特定方位

角偏光成分のポンプ光強度から偏波モード分散を求めるとともに四光波混合光強度の分布極大値を与えるポンプ光波長より零分散波長を求める演算器を備える(請求項1)。

【0009】2. 前記1記載の光分岐器から出力された一方の光の中からポンプ光のみ透過される第一の光バンドパスフィルタと、第一の光バンドパスフィルタから出力された光において特定方位角偏光成分のみ透過させる固定検光子と、光分岐器から出力された他方の光の中から四光波混合光のみ透過させる第二の光バンドパスフィルタと、固定検光子から出力された光と第二の光バンドパスフィルタから出力された光を合波して光スペクトラムアナライザに出力する第二の光合波器を備える(請求項2)。

【0010】3. 前記1または2において、 $2 \times \omega_1 - \omega_2$ なる四光波混合強度の分布極大値を与えるポンプ光波長から零分散波長を求める演算器を備える(請求項3)。

【0011】4. 前記1または2において、 $2 \times \omega_2 - \omega_1$ なる四光波混合強度の分布極大値を与えるポンプ光波長から零分散波長を求める演算器を備える(請求項4)。

5. 発振波長を $\lambda_2$  ( $\omega_2 = 2\pi c / \lambda_2$ )として波長掃引可能なポンプ光の偏光状態を発振波長を $\lambda_1$  ( $\omega_1 = 2\pi c / \lambda_1$ )として発振波長が一定なプローブ光の偏波状態に一致させ、一致させた光とプローブ光を合波するとともに、被測定ファイバに入力し、ポンプ光波長を所定範囲掃引した時に被測定ファイバから出力される $2 \times \omega_1 - \omega_2$ と $2 \times \omega_2 - \omega_1$ の四光波混合光とポンプ光とプローブ光を二分岐し、一方の光において特定方位角偏光成分のみ透過させ、他方の光もしくは前記特定方位角偏光成分の光を選択して入力された光の強度と波長を測定する光スペクトラムアナライザの出力を演算器に入力し、前記ポンプ光波長掃引時において得られるポンプ光波長に対する特定方位角偏光成分のポンプ光強度から偏波モード分散を求めるとともに四光波混合光強度の分布極大値を与えるポンプ光波長より零分散波長を求める(請求項5)。

6. 発振波長を $\lambda_2$ として波長掃引可能なポンプ光の偏光状態を発振波長を $\lambda_1$ として発振波長が一定なプローブ光の偏波状態に一致させ両光を合波するとともに、被測定ファイバに入力し、ポンプ光波長を所定範囲掃引した時に被測定ファイバから出力される $2 \times \omega_1 - \omega_2$ と $2 \times \omega_2 - \omega_1$ の四光波混合光とポンプ光とプローブ光を二分岐し、一方の光の中からポンプ光の特定方位角偏光成分のみ透過させて抽出し、他方の光の中から四光波混合光のみ透過させ前記特定方位角偏光成分の光と前記四光波混合光を合波して光スペクトラムアナライザ入力して光の強度と波長を測定し、演算器により前記ポンプ光波長掃引時において得られるポンプ光波長に対する

特定方位角偏光成分のポンプ光強度から偏波モード分散を求めるとともに四光波混合光強度の分布極大値を与えるポンプ光波長より零分散波長を求める(請求項6)。

7. 前記5または6において、前記演算器が $2 \times \omega_1 - \omega_2$ なる四光波混合強度

の分布極大値を与えるポンプ光波長から零分散波長を求める(請求項7)。8. 前記5または6において、前記演算器が $2 \times \omega_2 - \omega_1$ なる四光波混合強度の分布極大値を与えるポンプ光波長から零分散波長を求める(請求項8)。

【0012】

【発明の実施の形態】以下に、本発明に係るPMD測定及び零分散波長測定装置の実施の形態例を第1図に基づいて説明する。

<第1の実施形態例>第1図は本発明を適用した実施の形態例に係るPMD測定及び零分散波長測定装置の構成を示す構成図である。ただし、この第1図において、前述した第4図、第5図の各部と共通する部分には同一の符号を付して示し、その説明を省略する。

【0013】第1図の6は光分岐器、7は固定検光子、8は光選択器、10は演算器である。第1の実施の形態例のPMD測定及び零分散波長測定装置で、プローブ光源1から出力された光波長 $\lambda_1$ のプローブ光は光合波器2に投入される。波長掃引可能なポンプ光源3から出力された波長 $\lambda_2$ のポンプ光は、投入された光の偏波状態を特定の偏光状態に変換可能な偏波コントローラ4により、偏波状態をプローブ光の偏波状態と一致させられ、光合波器2で合波される。偏波コントローラは $\pi/4$ 波長板と $\pi/2$ 波長板に置き換えてもかまわない。光合波器2から出力される光は、被測定ファイバ5に投入される。被測定ファイバ5内では従来技術と同様に $2 \times \omega_1 - \omega_2$ 、 $2 \times \omega_2 - \omega_1$ なる光波長を持つFWM光が発生し、プローブ光とポンプ光と共に、光分岐器6に投入される。光分岐器6によって二分岐された一方の光は固定検光子7に投入される。固定検光子7は、投入された光のうち、特定方位角の偏光成分のみ通過させて光選択器8のaポートに出力する。光分岐器6から出力される他方の光は光選択器8のbポートに投入され、光選択器は、必要に応じて、a、bポートのどちらかを光スペクトラムアナライザ9に出力する。

【0014】ここで、光選択器8がaポートの光を選択した場合について、始めに説明する。光スペクトラムアナライザ9は入力された特定方位角の偏光成分のみ通過されたポンプ光、プローブ光、 $2 \times \omega_1 - \omega_2$ 、 $2 \times \omega_2 - \omega_1$ のFWM光のうち、ポンプ光強度と光波長を演算器10に出力する。演算器10はポンプ光源3の波長を所定範囲、所定分解能で掃引させ、掃引ステップ毎に光スペクトラムアナライザ9から入力された特定方位角の偏光成分のみ通過されたポンプ光強度と波長を記録する。記録した特定方位角偏光成分のみ通過されたポンプ

光強度と波長は第3図の様になり、掃引波長範囲内で生じたポンプ光の周期変化の内、任意強度以上で、かつ任意周期振幅以上のピーク数、最初のピーク波長、最後のピーク波長から前記(1)式によりPMDを求める。

又、FWM光発生に際し、ポンプ光から、FWM光へ遷移した光強度は非常に微弱であるため、PMDの測定に対し何ら問題を生じない。

【0015】次に光選択器8がbポートの光を選択した場合について説明する。光スペクトラムアナライザ9では $2 \times \omega_1 - \omega_2$ もしくは $2 \times \omega_2 - \omega_1$ のFWM光強度と光波長を測定し、演算器10に出力する。演算器10はポンプ光源3の波長を所定範囲、所定分解能で掃引させ、波長掃引ステップ毎に光スペクトラムアナライザ9から入力された $2 \times \omega_1 - \omega_2$ もしくは $2 \times \omega_2 - \omega_1$ のFWM光強度と光波長を記録する。ここで、光波長 $\lambda_1$ 又は $\lambda_2$ の発振波長が、被測定ファイバの零分散波長に一致し、かつ前記プローブ光の偏波状態と前記ポンプ光の偏波状態が一致すると、 $2 \times \omega_1 - \omega_2$ 及び $2 \times \omega_2 - \omega_1$ のFWM光強度は最大となるため、FWM強度が最大となるポンプ光源3の波長を求めることで、被測定ファイバ5の零分散波長が特定できる。

【0016】ここまで、上記光選択器8のaポート、bポートを通る光の処理について、独立な説明を行ったが、実際に演算器10はポンプ光源3の波長を所定ステップ掃引した後にaポートを選択して $2 \times \omega_1 - \omega_2$ もしくは $2 \times \omega_2 - \omega_1$ のFWM光強度と光波長を記録し、次にbポートに切り替えて、特定方位角偏光成分のみ通過されたポンプ光強度と波長を記録するので、ポンプ光源3の1掃引で、零分散波長とPMDが測定可能である。

【0017】<第2の実施形態例>第2図は、本発明を適用した実施の形態例に係るPMD測定及び零分散波長測定装置の構成を示す構成図である。ただし、この第2図において、前述した第1図、第3図、第4図の各部と共通する部分には同一の符号を付して示し、その説明を省略する。11、12は光バンドパスフィルタ、13は光合波器、14は演算器である。第2の実施形態例では第1の実施形態例における光分岐器6に至る動作は全く同一であるため、その説明を省略する。

【0018】光分岐器6によって二分岐された一方の光は、透過波長可変の光バンドパスフィルタ11によりポンプ光のみ透過される。光バンドパスフィルタ11からのポンプ光は、固定検光子7に投入される。固定検光子7は、投入された光のうち、特定方位角の偏光成分のみ通過させて光合波器13に投入する。光分岐器6から出力される他方の光は、透過波長可変の光バンドパスフィルタ12により $2 \times \omega_1 - \omega_2$ もしくは $2 \times \omega_2 - \omega_1$ のFWM光のみ透過させられて光合波器13に投入される。光合波器13は、特定方位角偏光成分のみ通過されたポンプ光と $2 \times \omega_1 - \omega_2$ 及び $2 \times \omega_2 - \omega_1$ のFW

M光を合波し、光スペクトラムアナライザ9に入力する。光スペクトラムアナライザ9は入力された特定方位角偏光成分のみ通過されたポンプ光と $2 \times \omega 1 - \omega 2$ もしくは $2 \times \omega 2 - \omega 1$ のFWM光の波長と強度を演算器14に出力する。演算器14はポンプ光源3の波長を所定範囲、所定分解能で掃引させ、掃引ステップ毎に光スペクトラムアナライザ9から入力された特定方位角偏光成分のみ通過されたポンプ光強度と、光波長及び $2 \times \omega 1 - \omega 2$ もしくは $2 \times \omega 2 - \omega 1$ のFWM光強度と光波長を記録する。更に演算器14は記録した特定方位角偏光成分のみ通過されたポンプ光強度と波長及び $2 \times \omega 1 - \omega 2$ もしくは $2 \times \omega 2 - \omega 1$ のFWM光強度と波長から、零分散波長とPMDを演算するが、演算方法については第1の実施形態例と全く同一であるため、その説明を省略する。

【0019】

【発明の効果】1. 本発明は、PMD測定及び零分散波長測定装置において、発振波長を $\lambda 1$ として発振波長が一定なプローブ光源と、発振波長を $\lambda 2$ として波長掃引可能なポンプ光源と、ポンプ光源から出力されたポンプ光の偏光状態を前期プローブ光源から出力されるプローブ光の偏波状態に一致させる偏波コントローラと、偏波コントローラからの光とプローブ光を合波するとともに、被測定ファイバに入力する光合波器と、ポンプ光波長を所定範囲掃引した時に被測定ファイバから出力される $2 \times \omega 1 - \omega 2$ と $2 \times \omega 2 - \omega 1$ の四光波混合光とポンプ光とプローブ光を二分岐する光分岐器と、光分岐器から出力された一方の光において特定方位角偏光成分のみ透過させる固定検光子と、光分岐器から出力された他方の光もしくは固定検光子から出力された光を選択して出力する光選択器と、光選択器から入力された光の強度と波長を測定して演算器に入力する光スペクトラムアナライザと、前記ポンプ光波長掃引時において得られるポンプ光波長に対する特定方位角偏光成分のポンプ光強度から偏波モード分散を求めるとともに四光波混合光強度の分布極大値を与えるポンプ光波長より零分散波長を求める演算器を備えたので、広範囲に波長掃引可能な光源の一波長掃引で、零分散波長とPMDの測定を同時に測定することで、測定時間を短縮すると共に、長距離ファイバのPMDを高精度に測定することが可能である（請求項1）。

【0020】2. 本発明は、PMD測定及び零分散波長測定装置において、前記1記載の光分岐器から出力された一方の光の中からポンプ光のみ透過される第一の光バンドパスフィルタと、第一の光バンドパスフィルタから出力された光において特定方位角偏光成分のみ透過させる固定検光子と、光分岐器から出力された他方の光の中から四光波混合光のみ透過させる第二の光バンドパスフィルタと、固定検光子から出力された光と第二の光バンドパスフィルタから出力された光を合波して光スペクト

ラムアナライザに出力する第二の光合波器を備えたので、広範囲に波長掃引可能な光源の一波長掃引で、零分散波長とPMDの測定を同時に測定することで、測定時間を短縮すると共に、長距離ファイバのPMDを高精度に測定することが可能である（請求項2）。

【0021】3. 本発明は、前記1または2において、 $2 \times \omega 1 - \omega 2$ なる四光波混合強度の分布極大値を与えるポンプ光波長から零分散波長を求める演算器を備えたので、広範囲に波長掃引可能な光源の一波長掃引で、零分散波長とPMDの測定を同時に測定することで、測定時間を短縮すると共に、長距離ファイバのPMDを高精度に測定することが可能である（請求項3）。

【0022】4. 本発明は、前記1または2において、 $2 \times \omega 2 - \omega 1$ なる四光波混合強度の分布極大値を与えるポンプ光波長から零分散波長を求める演算器を備えたので、広範囲に波長掃引可能な光源の一波長掃引で、零分散波長とPMDの測定を同時に測定することで、測定時間を短縮すると共に、長距離ファイバのPMDを高精度に測定することが可能である（請求項4）。

【0023】5. 本発明は、PMD測定及び零分散波長測定方法において、発振波長を $\lambda 2$  ( $\omega 2 = 2\pi c / \lambda 2$ ) として波長掃引可能なポンプ光の偏光状態を発振波長を $\lambda 1$  ( $\omega 1 = 2\pi c / \lambda 1$ ) として発振波長が一定なプローブ光の偏波状態に一致させ、一致させた光とプローブ光を合波するとともに、被測定ファイバに入力し、ポンプ光波長を所定範囲掃引した時に被測定ファイバから出力される $2 \times \omega 1 - \omega 2$ と $2 \times \omega 2 - \omega 1$ の四光波混合光とポンプ光とプローブ光を二分岐し、一方の光において特定方位角偏光成分のみ透過させ、他方の光もしくは前記特定方位角偏光成分の光を選択して入力された光の強度と波長を測定する光スペクトラムアナライザの出力を演算器に入力し、前記ポンプ光波長掃引時において得られるポンプ光波長に対する特定方位角偏光成分のポンプ光強度から偏波モード分散を求めるとともに四光波混合光強度の分布極大値を与えるポンプ光波長より零分散波長を求めるので、広範囲に波長掃引可能な光源の一波長掃引で、零分散波長とPMDの測定を同時に測定することで、測定時間を短縮すると共に、長距離ファイバのPMDを高精度に測定することが可能である（請求項5）。

【0024】6. 本発明は、PMD測定及び零分散波長測定方法において、発振波長を $\lambda 2$ として波長掃引可能なポンプ光の偏光状態を発振波長を $\lambda 1$ として発振波長が一定なプローブ光の偏波状態に一致させ両光を合波するとともに、被測定ファイバに入力し、ポンプ光波長を所定範囲掃引した時に被測定ファイバから出力される $2 \times \omega 1 - \omega 2$ と $2 \times \omega 2 - \omega 1$ の四光波混合光とポンプ光とプローブ光を二分岐し、一方の光の中からポンプ光の特定方位角偏光成分のみ透過させて抽出し、他方の光の中から四光波混合光のみ透過させ前記特定方位角偏

光成分の光と前記四光波混合光を合波して光スペクトラムアナライザ入力して光の強度と波長を測定し、演算器により前記ポンプ光波長掃引時において得られるポンプ光波長に対する特定方位角偏光成分のポンプ光強度から偏波モード分散を求めるとともに四光波混合光強度の分布極大値を与えるポンプ光波長より零分散波長を求めるので、広範囲に波長掃引可能な光源の一波長掃引で、零分散波長とPMDの測定を同時に測定することで、測定時間を短縮すると共に、長距離ファイバのPMDを高精度に測定することが可能である（請求項6）。

【0025】7. 本発明は、前記5または6において、前記演算器が $2 \times \omega_1 - \omega_2$ なる四光波混合強度の分布極大値を与えるポンプ光波長から零分散波長を求めるので、広範囲に波長掃引可能な光源の一波長掃引で、零分散波長とPMDの測定を同時に測定することで、測定時間を短縮すると共に、長距離ファイバのPMDを高精度に測定することが可能である（請求項7）。

【0026】8. 本発明は、前記5または6において、前記演算器が $2 \times \omega_2 - \omega_1$ なる四光波混合強度の分布極大値を与えるポンプ光波長から零分散波長を求めるので、広範囲に波長掃引可能な光源の一波長掃引で、零分散波長とPMDの測定を同時に測定することで、測定時間を短縮すると共に、長距離ファイバのPMDを高精度に測定することが可能である（請求項8）。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る第1の実施の形態の構成図である。

【図2】本発明に係る第2の実施の形態の構成図である。

【図3】偏波モード分散の説明図である。

【図4】従来技術による零分散波長測定装置の構成図である。

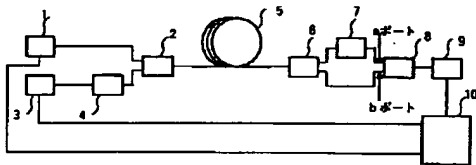
【図5】従来技術による偏波モード分散測定装置の構成図である。

【図6】従来技術を説明する波形図である。

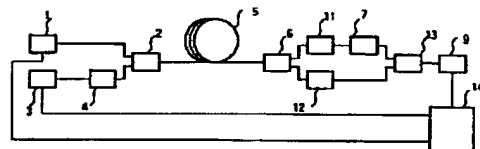
【符号の説明】

- 1 プロープ光源
- 2, 13 光合波器
- 3 ポンプ光源
- 4 偏派コントローラ
- 5 被測定ファイバ
- 6 光分岐器
- 7 固定検光子
- 8 光選択器
- 9 光スペクトラムアナライザ
- 10, 14, 15, 17 演算器
- 11, 12 光バンドパスフィルタ
- 13 光合波器
- 16 広帯域光源

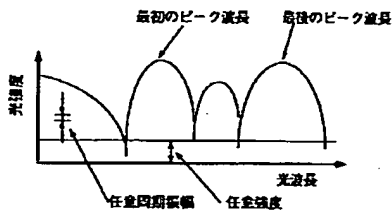
【図1】



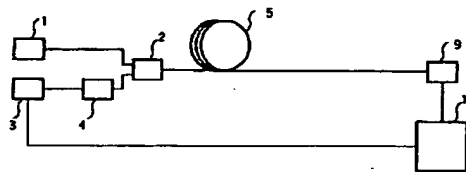
【図2】



【図3】

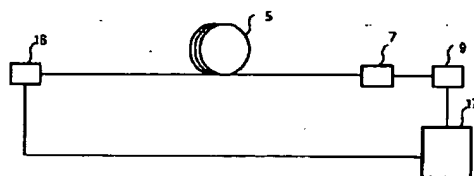


【図4】





【図5】



【図6】

